

ИНФОРМАТИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 681.511

Д. С. Карпович, А. Н. Шумский

Белорусский государственный технологический университет

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ И ШУМОМ ВО ВХОДНОМ КАНАЛЕ

Сформулирована методика синтеза системы управления с применением теории нечетких множеств. Приведены результаты имитационного моделирования системы с нечетким логическим контроллером при зашумленности входной информации.

Произведен синтез системы управления с нечетким регулятором и шумом во входном канале. Исследование динамики нечеткой системы управления проводилось в среде графического моделирования Simulink пакета Matlab. На основании полученных результатов моделирования выбраны рациональные алгоритмы управления для нечеткого регулятора с шумом во входном канале.

Выполнен анализ работы нечеткого регулятора. Рассмотрены основные процессы, происходящие в нечетком выводе в нечетких системах автоматического управления, а также система автоматического управления с нечетким контроллером и управлением по состоянию.

В данной статье предлагается подход синтеза нечеткого закона управления для объекта второго порядка, имеющего упрощенную динамику модели и минимальную исходную информацию о параметрах.

Ключевые слова: система управления, нечеткий регулятор, лингвистическая переменная.

D. S. Karpovich, A. N. Shumski

Belarusian State Technological University

SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEMS WITH FUZZY CONTROLLER AND THE NOISE IN THE INPUT CHANNEL

The method of synthesis of a control system using fuzzy sets theory is formulated. The results of the simulation system with fuzzy logic controller with the noise of the input information are given.

Synthesis control system with fuzzy controller and the noise in the input channel is carried out. Investigation of the dynamics of fuzzy control system was carried out in an environment of graphic modeling Simulink Matlab package. Based on the simulation results, rational control algorithms for fuzzy control noise in the input channel were selected.

The analysis of the work of fuzzy controller is carried out. The main processes in the fuzzy inference in the fuzzy automatic control systems are considered. An automatic control system with fuzzy controller and controlled by state is also investigated.

This article proposes an approach of synthesis of fuzzy control law for an object having a second order, simplified dynamics model and a minimum initial information on the parameters.

Key words: control system, fuzzy control, linguistic variable.

Введение. В последнее время нечеткое моделирование является одним из наиболее активных и перспективных направлений прикладных исследований в области управления и принятия

решений. Нечеткое моделирование оказывается особенно полезным, когда в описании технических систем и бизнес-процессов присутствует неопределенность, которая затрудняет или да-

же исключает применение точных количественных методов и подходов [1].

В области управления техническими системами нечеткое моделирование позволяет получать более адекватные результаты по сравнению с результатами, которые основываются на использовании традиционных аналитических моделей и алгоритмов управления. Диапазон применения нечетких методов с каждым годом расширяется, охватывая такие области, как проектирование промышленных роботов и бытовых электроприборов, управление доменными печами и движением поездов метро, автоматическое распознавание речи и изображений.

Нечеткая логика, которая служит основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формально-логические системы. Именно поэтому изучение и использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности.

Основная часть. Перспективным направлением развития для систем автоматического управления (САУ) объектами со сложной математической моделью и большим числом экспериментально определяемых параметров является применение нечеткого логического вывода в системе управления. Нечеткий логический вывод позволяет использовать для управления информацию качественного характера, которую невозможно формализовать при реализации традиционных законов регулирования. При этом нечеткое регулирование оказывается малочувствительным к возмущениям в определенном диапазоне и демонстрирует лучшие показатели качества переходного процесса по сравнению с классическими регуляторами.

Свойства нечеткого вывода обрабатывать неполную информацию, моделировать человеческие знания и выдавать обоснованные решения предполагают ее интенсивное использование для наблюдения в реальном времени за технологическими процессами, а также решение проблем, связанных с практической реализацией систем управления технологическими процессами [2].

Понятие нечеткого вывода занимает центральное место в нечеткой логике и в теории нечеткого управления. Говоря о нечеткой логике в системах управления, можно дать следующее определение системы нечеткого вывода.

Система нечеткого вывода – это процесс получения нечетких заключений о требуемом

управлении объектом на основе нечетких условий или предпосылок, представляющих собой информацию о текущем состоянии объекта. Разработка и применение систем нечеткого вывода включает в себя ряд этапов, а именно: формирование базы правил, фазификация, агрегирование, активизация, аккумулялирование, дефазификация (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма процесса нечеткого вывода в нечетких САУ

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний или знаний экспертов в той или иной проблемной области. Таким образом, база нечетких продукционных правил системы нечеткого вывода – это система нечетких продукционных правил, отражающая знания экспертов о методах управления объектом в различных ситуациях, характере его функционирования в различных условиях и т. п., т. е. содержащая формализованные человеческие знания.

База правил нечетких продукций представляет собой конечное множество правил нечетких продукций, согласованных относительно используемых в них лингвистических переменных. Наиболее часто база правил записывается в форме структурированного текста:

Правило_1: ЕСЛИ «Условие_1» И
«Условие_2», ТО «Заключение_1»

Правило_n: ЕСЛИ «Условие_n1» И
«Условие_n2», ТО «Заключение_n»

В системах нечеткого вывода лингвистические переменные, которые используются в нечетких высказываниях подусловий правил нечетких продукций, часто называют входными лингвистическими переменными, а переменные, которые используются в нечетких высказываниях подзаключений правил нечетких продукций, часто называют выходными лингвистическими переменными.

Фазификация. В контексте нечеткой логики под фазификацией понимается не только отдельный этап выполнения нечеткого вывода, но и собственно процесс или процедура нахождения значений функций принадлежности нечетких множеств (термов) на основе обычных (не нечетких) исходных данных. Фазификацию еще называют введением нечеткости.

Целью этапа фазификации является установление соответствия между конкретным (обычно – численным) значением отдельной входной переменной системы нечеткого вывода и значением функции принадлежности соответствующего ей терма входной лингвистической переменной. После завершения этого этапа для всех входных переменных должны быть определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в подусловиях базы правил системы нечеткого вывода.

Агрегирование – это процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода. При этом используются полученные на этапе фазификации значения функций принадлежности термов лингвистических переменных.

Если условие нечеткого продукционного правила является простым нечетким высказыванием, то степень его истинности соответствует значению функции принадлежности соответствующего терма лингвистической переменной.

Если условие представляет составное высказывание, то степень истинности сложного высказывания определяется на основе известных значений истинности составляющих его элементарных высказываний при помощи введенных ранее нечетких логических операций в одном из оговоренных заранее базисов.

Активизация в системах нечеткого вывода – это процедура или процесс нахождения степени истинности каждого из элементарных логических высказываний (подзаключений), всех составляющих нечетких продукционных правил. Поскольку заключения делаются относительно выходных лингвистических переменных, то степеням истинности элементарных подзаключений при активизации ставятся в соответствие элементарные функции принадлежности.

Если заключение нечеткого продукционного правила является простым нечетким высказыванием, то степень его истинности равна алгебраическому произведению весового коэффициента и степени истинности антецедента данного нечеткого продукционного правила.

Если заключение представляет составное высказывание, то степень истинности каждого из элементарных высказываний равна алгебраическому произведению весового коэффици-

ента и степени истинности антецедента данного нечеткого продукционного правила.

Если весовые коэффициенты продукционных правил не указаны явно на этапе формирования базы правил, то их значения по умолчанию равны единице.

Аккумуляция, или аккумуляирование в системах нечеткого вывода, представляет собой процедуру или процесс нахождения функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных множества.

Цель аккумуляции заключается в том, чтобы объединить или аккумуляировать все степени истинности заключений (подзаключений) для получения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Причина необходимости выполнения этого этапа состоит в том, что подзаключения, относящиеся к одной и той же выходной лингвистической переменной, принадлежат различным правилам системы нечеткого вывода.

Дефазификация в системах нечеткого вывода – это процесс перехода от функции принадлежности выходной лингвистической переменной к четкому (числовому) значению. Цель дефазификации состоит в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить количественные значения для каждой выходной переменной, которая используется внешними по отношению к системе нечеткого вывода устройствами (исполнительными механизмами интеллектуальной САУ).

Система автоматического управления с нечетким контроллером. Архитектура системы автоматического управления с нечетким контроллером, реализующей управление по состоянию, представлена на рис. 2. Обобщенный объект управления включает в себя непосредственно управляемый технологический процесс, усилительно преобразующие механизмы, органы регулирования и датчики измерения переменных состояния объекта управления [3]. Входные переменные, характеризующие реальное и желаемое состояние объекта управления, подвергаются фазификации и используются в системе нечеткого вывода. Система нечеткого вывода содержит базу нечетких продукционных правил обобщенного вида ЕСЛИ «состояние объекта», ТО «воздействие на объект», в которой в нечеткой форме представлены знания экспертов по управлению данным технологическим процессом при движении к желаемому состоянию объекта на основе знаний о величинах, характеризующих действительное состояние объекта. В результате нечеткого вывода и последующей дефазификации получают четкие значения выходных переменных, кото-

рые используются для последующего управления технологическим процессом.

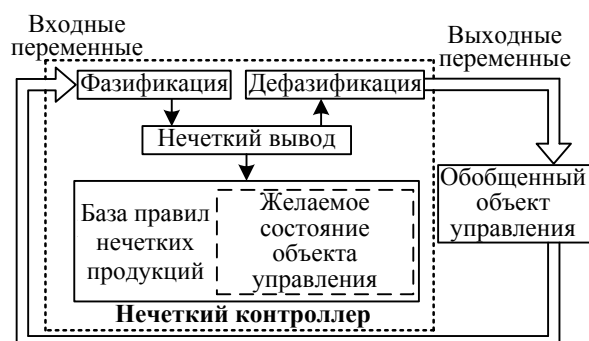


Рис. 2. САУ с нечетким контроллером и управлением по состоянию

Отдельный интерес вызывают исследования нечетких систем регулирования в условиях возникновения ошибок в каналах передачи данных или изменения погрешности в измерительной части схемы управления измерений. Это может быть обусловлено большим количеством внешних факторов электромагнитной природы, оказывающих влияние на элементы технических средств системы управления.

Рассмотрим систему управления с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором и наличием шума во входном канале управления (рис. 3).

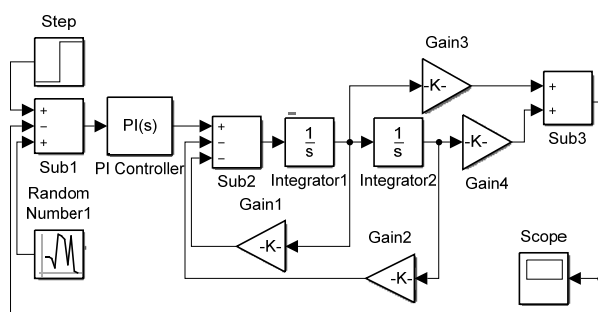


Рис. 3. Структурная схема системы управления с ПИ-регулятором и шумом во входном канале

Графики переходных процессов с ПИ-регулятором с наличием шума и без него приведены на рис. 4.

Для синтеза нечеткого регулятора необходимо определить лингвистические переменные, составить их терм-множества и функции принадлежности. Входными сигналами для контроллера, основанного на нечеткой логике, являются пропорциональная составляющая P и интегральная составляющая I ПИ подобного нечеткого регулятора. Применительно к контроллеру эти сигналы – лингвистические переменные. Для этих переменных вводятся следующие термы. Для P , I лингвистических переменных (рис. 5 и 6):

- отрицательное (Negative);
- нулевое (Zero);
- положительное (Positive).

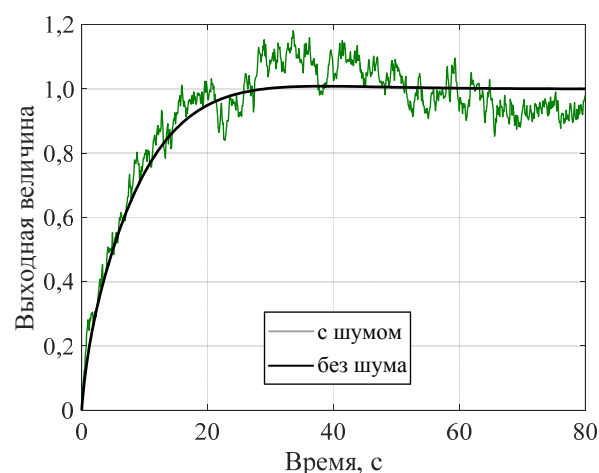


Рис. 4. Переходный процесс системы с ПИ-регулятором с шумом и без него

Для выходной лингвистической переменной (рис. 7):

- небольшое (Small);
- среднее (Medium);
- большое (Large).

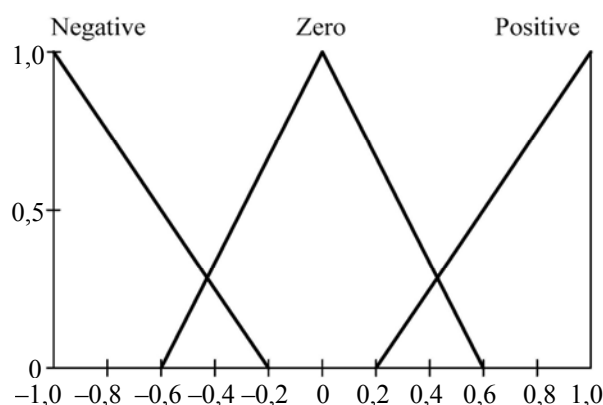


Рис. 5. Функция принадлежности для терм-множества лингвистической переменной P

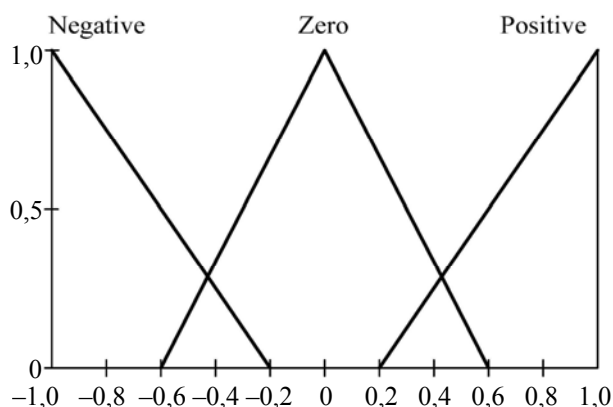


Рис. 6. Функция принадлежности для терм-множества лингвистической переменной I

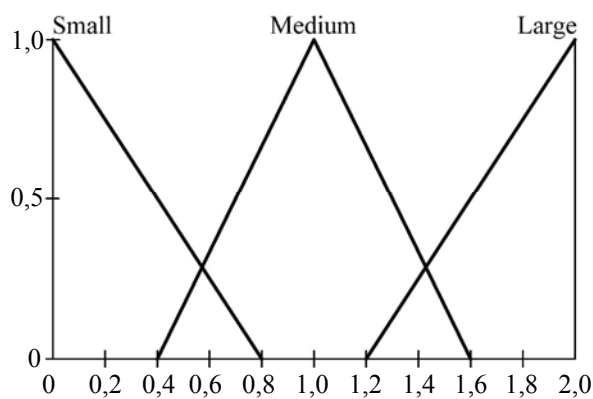


Рис. 7. Функция принадлежности для терм-множества выходной лингвистической переменной

База правил имеет следующий вид:

1. If (P is Negative) and (I is Negative) then (U is Small).
2. If (P is Negative) then (U is Small).
3. If (P is Negative) then (U is Medium).
4. If (P is Negative) then (U is Medium).
5. If (P is Negative) and (I is Positive) then (U is Medium).
6. If (I is Negative) then (U is Small).
7. If (I is Positive) then (U is Medium).
8. If (I is Zero) then (U is Medium).
9. If (P is Zero) then (U is Medium).
10. If (P is Zero) and (I is Zero) then (U is Medium).
11. If (I is Negative) then (U is Medium).
12. If (I is Positive) then (U is Large).
13. If (I is Negative) then (U is Medium).
14. If (I is Positive) then (U is Large).
15. If (P is Positive) and (I is Negative) then (U is Medium).
16. If (P is Positive) then (U is Medium).
17. If (P is Positive) then (U is Large).
18. If (P is Positive) then (U is Large).
19. If (P is Positive) and (I is Positive) then (U is Large).

Поверхность нечеткого вывода показана на рис. 8.

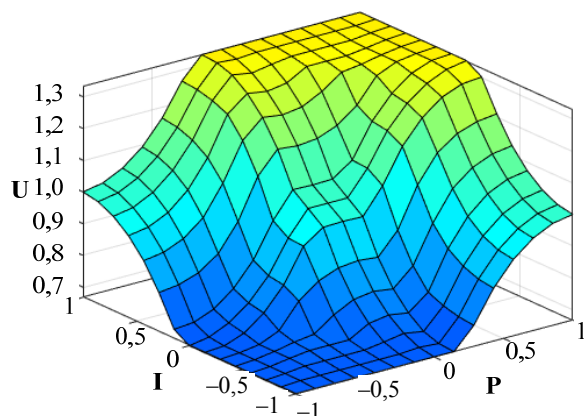


Рис. 8. Поверхность нечеткого вывода

Рассмотрим систему управления и график переходного процесса с ПИ подобным нечетким регулятором с наличием шума во входном канале управления и без него (рис. 9 и 10).

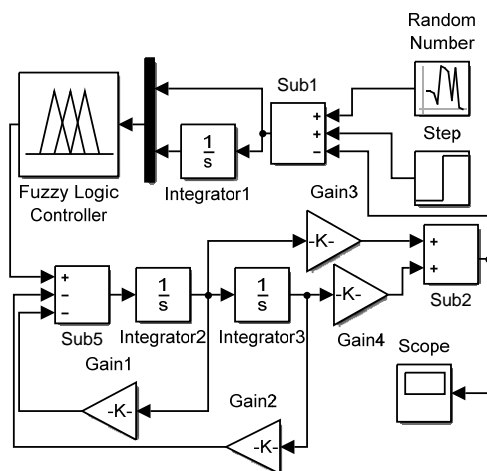


Рис. 9. Структурная схема системы управления с ПИ подобным нечетким регулятором и шумом во входном канале

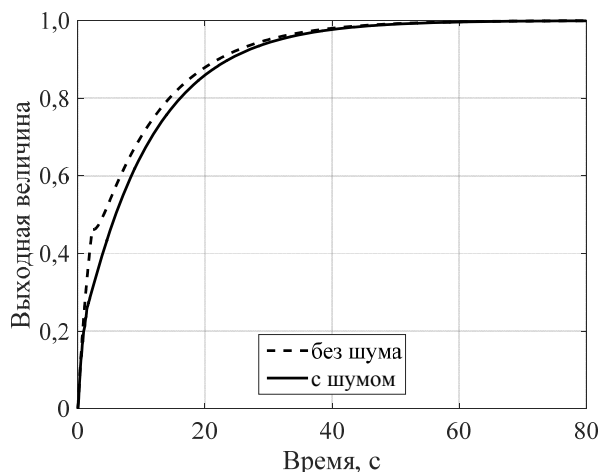


Рис. 10. Переходный процесс системы с ПИ подобным нечетким регулятором с шумом и без него

Время переходного процесса для системы с шумом – 31,5 с (без шума – 29,8 с), перерегулирование – 0%, статическая ошибка – 0%.

Использование ПИ подобного нечеткого регулятора в условиях наличия шума во входном канале управления незначительно увеличивает время переходного процесса по сравнению с системой без шума.

На основании графиков переходного процесса (рис. 4 и 10) можно сделать вывод, что при наличии сложной системы управления в условиях зашумленности входной информации использование ПИ-регулятора не эффективно, в таком случае необходимо применять ПИ-регулятор, основанный на нечеткой логике, кото-

рый обеспечивает желаемое качество переходного процесса. Таким образом, нечеткий регулятор может быть использован в качестве фильтра для незначительного шума во входной информации.

Заключение. При синтезе систем автоматического управления с нечетким контроллером основная доля работы приходится на конструирование базы нечетких продукционных правил. Нечеткий контроллер реализует управление по состоянию, если продукции базы правил строятся с использованием лингвистических переменных, характеризующих состояние

объекта. В этом случае цель управления в виде желаемого состояния объекта управления неявно вводится в базу правил экспертом на стадии формирования базы нечетких продукционных правил. Определение функций принадлежности – наиболее трудоемкий процесс, в наибольшей степени определяющий качество процесса управления системой. Так, для составления наиболее адекватной модели требуется не только знание характера поведения системы в целом, но и определенное число экспериментов, позволяющее оценить недостатки нечеткой модели и устранить их.

Литература

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
2. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
3. Рубанов В. Г. Интеллектуальные системы автоматического управления. Нечеткое управление в технических системах. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. 170 с.

References

1. Leonenkov A. V. *Nechetkoye modelirovaniye v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB environment and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2005. 736 p.
2. Zade L. A. *Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The concept of linguistic variable and its application to the adoption of the approximate solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976. 165 p.
3. Rubanov V. G. *Intellektual'nyye sistemy avtomaticheskogo upravleniya. Nechetkoye upravleniye v tekhnicheskikh sistemakh* [Intelligent automatic control system. Fuzzy control in technical systems]. Belgorod, Izdatel'stvo BGTU imeni V. G. Shukhova Publ., 2010. 170 p.

Информация об авторах

Карпович Дмитрий Семенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: karpovich@tut.by

Шумский Андрей Николаевич – аспирант кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: andreishumski91@gmail.com

Information about the authors

Karpovich Dmitriy Semenovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karpovich@tut.by

Shumski Andrei Nikolaevich – PhD student, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: andreishumski91@gmail.com

Поступила 15.12.2016